



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

Software para la mejora del aprendizaje del cálculo estructural en ingeniería y arquitectura

Programa Barras V-2.0, Universitat de Lleida

- Bradineras Escó, F. Javier
Universitat de Lleida
Departamento de Ingeniería Agroforestal / Escuela Politécnica Superior
Jaume II, 69, 25001, Lleida, España
bradi@eagrof.udl.cat
- Castro Chicot, José Ramón
Universitat de Lleida
Departamento de Ingeniería Agroforestal / Escuela Politécnica Superior
Jaume II, 69, 25001, Lleida, España
jrcastro@eagrof.udl.cat
- Iglesias Rodríguez, José M.
Universitat de Lleida
Departamento de Ingeniería Agroforestal / Escuela Politécnica Superior
Jaume II, 69, 25001, Lleida, España
jmiglesias@eagrof.udl.cat
- Martorell Boada, Ingrid
Universitat de Lleida
Departamento de Informática e Ingeniería Industrial / Escuela Politécnica Superior
Jaume II, 69, 25001, Lleida, España
imartore@diei.udl.cat

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

- Nogués Aymamí, Miquel

Universitat de Lleida

Departamento de Informática e Ingeniería Industrial / Escuela Politécnica Superior

Jaume II, 69, 25001, Lleida, España

mnogues@dieiudl.cat

- Roca Enrich, Joan

Universitat de Lleida

Departamento de Informática e Ingeniería Industrial / Escuela Politécnica Superior

Jaume II, 69, 25001, Lleida, España

jroca@dieiudl.cat

1. RESUMEN

Actualmente, para abordar el cálculo estructural en la Universitat de Lleida existe software de uso profesional. Los dos grandes inconvenientes para aplicarlo como herramienta de docencia son, su alto coste económico y el hecho de que no facilita el aprendizaje del alumnado, puesto que únicamente permite obtener los resultados finales del cálculo, sin posibilidad de estudiar cuáles han sido los pasos realizados ni los valores de cálculo intermedios.

La Universitat de Lleida, ha promovido la elaboración de un software de cálculo estructural aplicando el método matricial de la rigidez, para que el estudiante, de forma autodidacta, sea capaz de generar sus propios ejemplos y validar, tanto las soluciones finales como los resultados intermedios. De esta forma el estudiante podrá conocer los puntos críticos donde los errores son más habituales y será capaz de resolverlos de forma autónoma.

2. ABSTRACT

Nowadays, professional software exist to allow structural calculation learning in the University of Lleida. There are two main drawbacks for its application as a teaching tool: its high cost and the inability for showing intermediate values of calculation; therefore, students are not able to check intermediate steps.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

The University of Lleida has promoted the development of an structural analysis software applying the matrix stiffness method. The target is to achieve students being able to generate their own examples and validate both, the final solutions and the intermediate results, in a self-learning way. That procedure allows to find out the critical items where errors are commonly made, in order that students are able to fix them by themselves.

3. PALABRAS CLAVE / KEYWORDS

Autoaprendizaje, cálculo matricial, estructuras / Self-learning, matrix stiffness calculation, structures

4. ÀREA DE CONOCIMIENTO

- Ingenierías y Arquitectura

5. ÀMBITO TEMÀTICO DEL CONGRESO

- El aprendizaje autónomo del alumno

6. MODALIDAD DE PRESENTACIÓN

- Comunicación póster

7. DESARROLLO

a) Objetivos

La finalidad de este proyecto, respaldado por la Universitat de Lleida, es la creación de un programa informático que permita realizar el cálculo lineal de estructuras de barras en dos dimensiones cargadas en su plano medio, y que sirva como apoyo didáctico.

La principal característica diferenciadora con otros programas de cálculo estructural, además de tener una finalidad docente, es que se puede instalar y utilizar en cualquier sistema operativo que disponga de soporte para Java. Esto implica que será factible su uso en sistemas operativos Windows, Linux y Macintosh.

Otra característica a destacar es que se trata de un programa de libre distribución.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

Los módulos necesarios para el correcto uso de la aplicación son:

- Módulo de diseño gráfico: Permite realizar de forma amigable el diseño de la estructura a calcular, operando de forma similar a cualquier programa CAD.
- Módulo de introducción de cargas: El programa permite elegir el tipo de cargas y confeccionar la combinación de las mismas de acuerdo con la normativa que se considere.
- Módulo de exportación de datos y resultados: Con el objetivo de que los estudiantes puedan utilizar la herramienta en otras asignaturas de la titulación, se pueden realizar exportaciones de imágenes de la estructura cargada y deformada, y también de los valores numéricos de los resultados, de manera que sea posible incluir el contenido de la exportación en cualquier proyecto o trabajo profesional como justificación de cálculo.
- Módulo de cálculo: Es el responsable de realizar todos los cálculos necesarios para encontrar los esfuerzos internos de la estructura y permitirá al alumno la obtención de resultados intermedios. Estos valores no son posibles de obtener en los programas de tipo privativo y de alto coste económico existentes en el mercado para uso profesional.

La posibilidad de realizar esta validación de resultados durante el proceso de resolución, permitirá al alumnado trabajar sobre las materias implicadas en su formación de una forma más autónoma y también detectar cuáles son los errores cometidos en el proceso de cálculo, dándoles la posibilidad de adoptar, sin ayuda externa, las medidas correctoras necesarias para alcanzar correctamente las soluciones finales.

El programa soporta diferentes idiomas de trabajo, entre ellos el inglés, catalán y castellano, lo que facilita su aprovechamiento en un ámbito territorial más amplio. Como beneficio adicional, en la actualidad, el aprendizaje de inglés suele ser una competencia transversal de la Universidad y el vocabulario técnico de ciertas asignaturas se podría practicar con el uso de este programa.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

b) Descripción del trabajo

- Antecedentes

La idea inicial para la creación de la versión previa del programa Barras (Barras V1) en el año 1998, fue la de diseñar una herramienta que sirviese como apoyo a la docencia de las asignaturas relacionadas con el cálculo de estructuras que se imparten en la Universitat de Lleida.

Esta primera versión se programó en Microsoft Visual Basic 3.0, cuando el sistema operativo de Microsoft era MSDOS y el entorno gráfico (Windows 3.0) era más un programa que un sistema operativo.

La evolución natural de esa versión del programa mediante la implementación de nuevas funcionalidades no fue posible, a causa de las modificaciones introducidas en las siguientes versiones de Microsoft Visual Basic. En el salto de la versión 3 a la 4 del lenguaje de programación, se perdió la compatibilidad para realizar la importación de la codificación y la estructura de los antiguos programas, hecho que obligó a dejar de lado temporalmente la evolución del Barras V1, puesto que se requería prácticamente una completa recodificación.

Durante el año 2011, y apoyados por un Proyecto de Innovación Docente respaldado por la Universitat de Lleida, se retoma el proyecto, recodificando el programa desde cero, y partiendo de un lenguaje de programación diferente al inicial.

La elección del lenguaje de programación se ha basado en dos pilares fundamentales, el software libre y la portabilidad. Estas dos características principales fueron la causa de la elección de Java como herramienta de programación, puesto que Java es de libre distribución y además se puede utilizar en sistemas operativos Windows, Macintosh y Linux, permitiendo el uso del programa Barras V2 en prácticamente el 100% de los ordenadores personales.

- Bases de cálculo del programa.

El programa es de aplicación al cálculo de estructuras de nudos rígidos y articulados de plano medio.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

El método de cálculo aplicado es el método matricial de la rigidez.

No se considera la deformación producida por el cortante. La relación entre el canto y la longitud de las piezas se considera lo suficientemente pequeña como para despreciarlo.

Se cumplen los siguientes principios básicos de la resistencia de materiales:

- Principio de la rigidez: Se asume que las deformaciones son pequeñas y el cálculo se realiza sobre la geometría sin deformar. En futuras versiones del programa, cuando se implemente el cálculo en segundo orden, este principio no será de obligado cumplimiento.
- Principio de superposición de efectos: El estado de equilibrio debido a varias acciones que actúan simultáneamente sobre un prisma mecánico es igual a la superposición de las soluciones que corresponden a cada uno de los estados de equilibrio si cada acción exterior actuara independientemente. Las combinaciones de acciones se calculan sobre esta base.
- Principio de Saint-Venant: A partir de una distancia suficiente de los puntos de la superficie de un sólido elástico en los que está aplicado un determinado sistema de fuerzas, las tensiones y deformaciones son prácticamente iguales para todos los sistemas de fuerzas que sean estáticamente equivalentes al dado.
- No se considera el efecto del pandeo.
- Distribución de la pantalla de trabajo del programa

En la imagen 1 se reflejan las distintas zonas de trabajo y opciones de las que dispone el programa.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI

LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

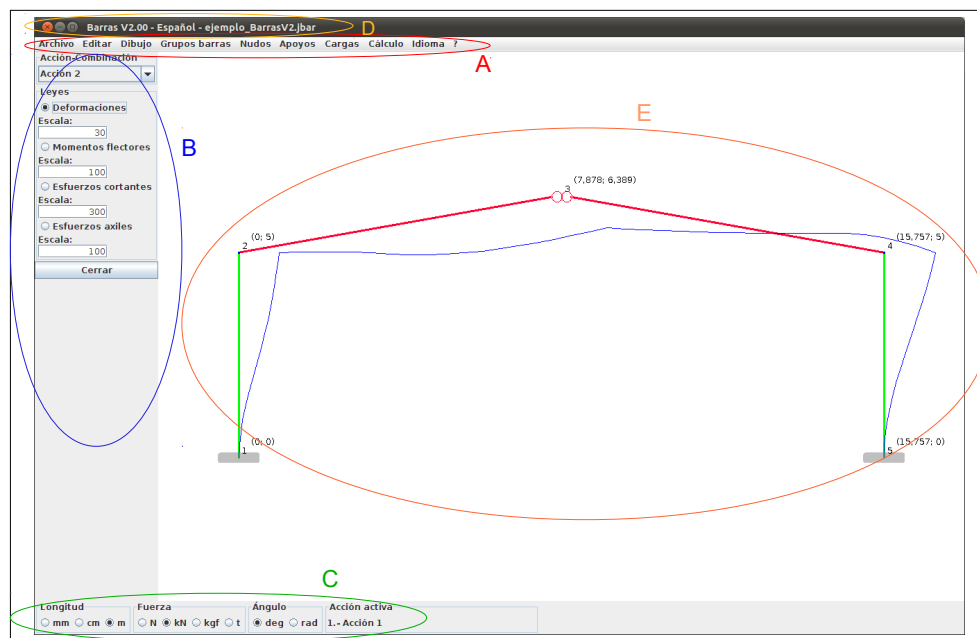


Imagen 1: Zonas de trabajo del programa

- A) Zona de menús
- B) Zona de barras de herramientas. Se dispone de una herramienta de apoyo al dibujo, otra para la introducción de cargas y para la representación de los gráficos de las leyes de esfuerzos y deformaciones.
- C) Zona de unidades. Los valores de coordenadas y cargas están directamente relacionados con las unidades definidas. En el momento de la introducción de datos, los valores numéricos aplicados tomarán como referencia las unidades seleccionadas por el usuario. El cambio de las unidades de trabajo, se puede realizar en cualquier momento desde la zona inferior del área de trabajo, y al cerrar el programa, las unidades por defecto seleccionadas se guardan en un archivo de configuración para que se mantengan en la siguiente ejecución.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

- D) Zona de títulos de la ventana. En esta zona se indica la versión del programa que se está utilizando, el idioma elegido y el nombre del archivo con el que se está trabajando en ese momento.
- E) Zona de representación gráfica de la estructura. En la zona central de la pantalla de trabajo del programa se representa (en función de la opción del menú elegida):
 - Geometría de la estructura, coordenadas de los nudos y numeración de los mismos.
 - Cargas, direcciones y magnitudes.
 - Apoyos.
 - Diagramas de esfuerzos de la estructura.
 - Diagrama de deformaciones de la estructura.
- Módulo de diseño gráfico

Se han codificado un conjunto de herramientas que permiten la representación de la geometría de la estructura, mediante el uso de coordenadas absolutas y relativas, para definir los nudos extremos de cada barra. También se ha implementado la captura de nudos iniciales y finales de barra de la misma forma que haría un programa de diseño asistido por ordenador.

Para acceder a la barra de herramientas de apoyo al diseño gráfico, hay que pulsar sobre la opción del menú “Dibujo/Dibujar barras...”. Esta acción proporciona acceso a la barra lateral que se observa en el lateral izquierdo de la imagen 2

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI

LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

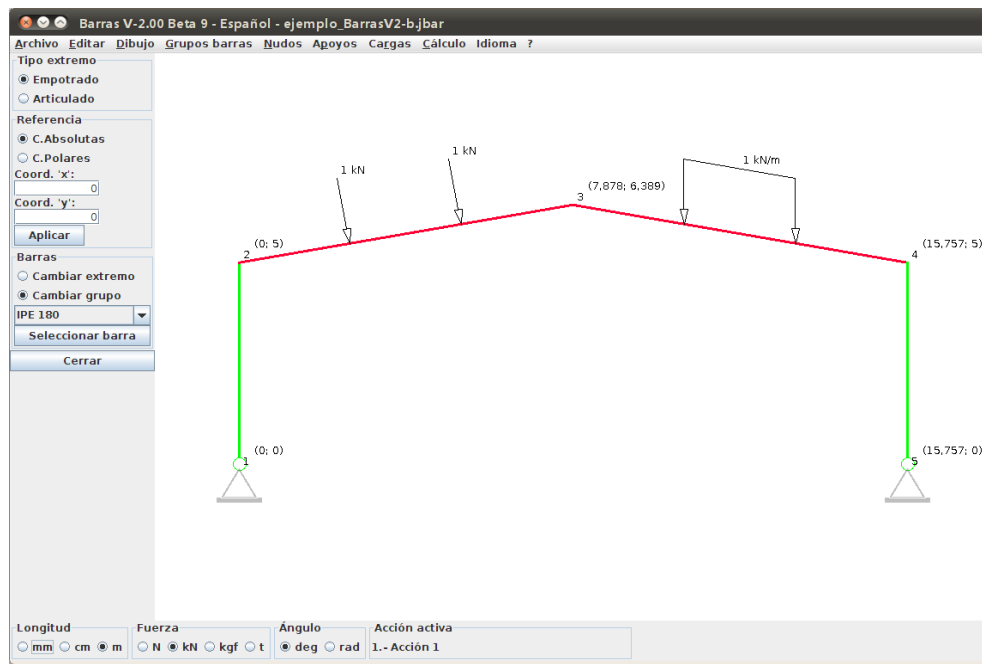


Imagen 2: Barra lateral de apoyo al diseño gráfico

La barra de herramientas de dibujo servirá de apoyo para definir la geometría de la estructura, determinar el tipo de extremo que tendrán las barras, e indicar el grupo y características que tendrá cada una de ellas.

Cuando se desee utilizar como nudo inicial o final de una barra alguno de los nudos ya dibujados, se puede desplazar el cursor por un punto cercano a alguno de los nudos dibujados y aparecerá un cuadrado de selección que permitirá capturar la coordenada del mismo.

Durante el proceso de dibujado de las barras el cursor activo tiene forma de cruz (\oplus). La pulsación del botón izquierdo del ratón cuando este cursor está activo permitirá la creación de un nuevo nudo o se seleccionará el más cercano.

Las barras van a quedar definidas siempre mediante las coordenadas de sus dos nudos extremos. Dos barras que se cruzan no generan automáticamente un nudo, hay que tener en cuenta este punto durante la definición de la geometría de la estructura, puesto que los apoyos y

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

los enlaces entre barras únicamente funcionarán correctamente cuando se realizan a partir de nudos.

Para facilitar el trabajo y la interpretación de cada una de las opciones del submenú, éste se ha dividido en varios apartados.

La opción “Tipo extremo” permite indicar si las barras que se van a dibujar van a ser de tipo biempotrado elásticamente o biarticulado. Las barras dibujadas con extremo articulado se representan con un círculo en los extremos, y las de extremo empotrado no tienen ninguna diferenciación adicional en el extremo.

El extremo empotrado de una barra representa una unión elásticamente empotrada con otras barras y permite el giro de la misma, aunque este giro será el mismo para todas las barras que concurren en el mismo nudo y con este tipo de extremo.

El extremo articulado permite el giro libre de los extremos de las barras. Al no existir restricción de giro, el valor del momento flector en ese tipo de extremo, será siempre nulo.

En el apartado de “Referencia” de la barra de herramientas se permite el uso de coordenadas absolutas o referencias polares para determinar los dos nudos de una barra. Con la opción “C. Absolutas” seleccionada, el programa espera recibir la coordenada 'x' e 'y' del nudo que se desea dibujar, en las casillas de texto existentes debajo de la opción.

Siempre, para aceptar la definición del nudo, se debe pulsar el botón “Aplicar” de la barra lateral.

La opción “C. Polares” únicamente se puede utilizar cuando se esté definiendo el segundo nudo de una barra. Las casillas de texto por debajo de la opción cambiarán su contenido y la casilla “Coord. x” cambia por el texto “Ángulo” y la “Coord. y” cambia por “Longitud”. En este caso, una vez introducido el primer nudo de la barra que se está dibujando, el segundo nudo tendrá como punto de referencia el primero y estará situado a la longitud que se haya establecido y formando el ángulo definido en la casilla de texto, con respecto al eje 'x' general horizontal de la estructura (véase imagen 9).

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

Las dos casillas de selección dentro del grupo “Barras” tienen dos opciones disponibles que son, “Cambiar extremo” y “Cambiar grupo”.

“Cambiar extremo” permite redefinir el tipo de extremo de una barra permitiendo el cambio de un extremo articulado por uno empotrado y viceversa.

“Cambiar grupo” permite asignar, a las barras seleccionadas, las características geométricas y de material del grupo indicado en la casilla inferior de la opción. Cada barra se asigna a un grupo de barras con unas características concretas de inercia, sección y módulo de elasticidad. Para definir estos grupos de barras se usará la opción del menú “Grupos barras/Editar características barras...”, cuya ventana de definición se puede observar en la imagen 3.

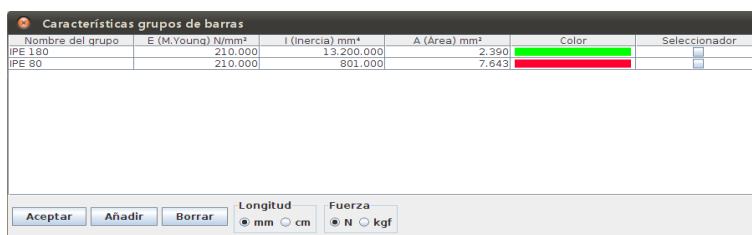


Imagen 3: Ventana de propiedades de las secciones

Dentro del módulo de diseño gráfico, también es posible introducir las características de los apoyos. El menú de apoyos permitirá indicar los nudos que van a trabajar como apoyo en la estructura. Cuando se selecciona esta opción aparece una barra de herramientas a la izquierda de la pantalla, que permitirá definir las diferentes tipologías de apoyos que se pueden asignar en la estructura.

Para definir un apoyo en un punto de la estructura, previamente se tendrá que haber definido el nudo correspondiente a uno o varios extremos de barras.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI

LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

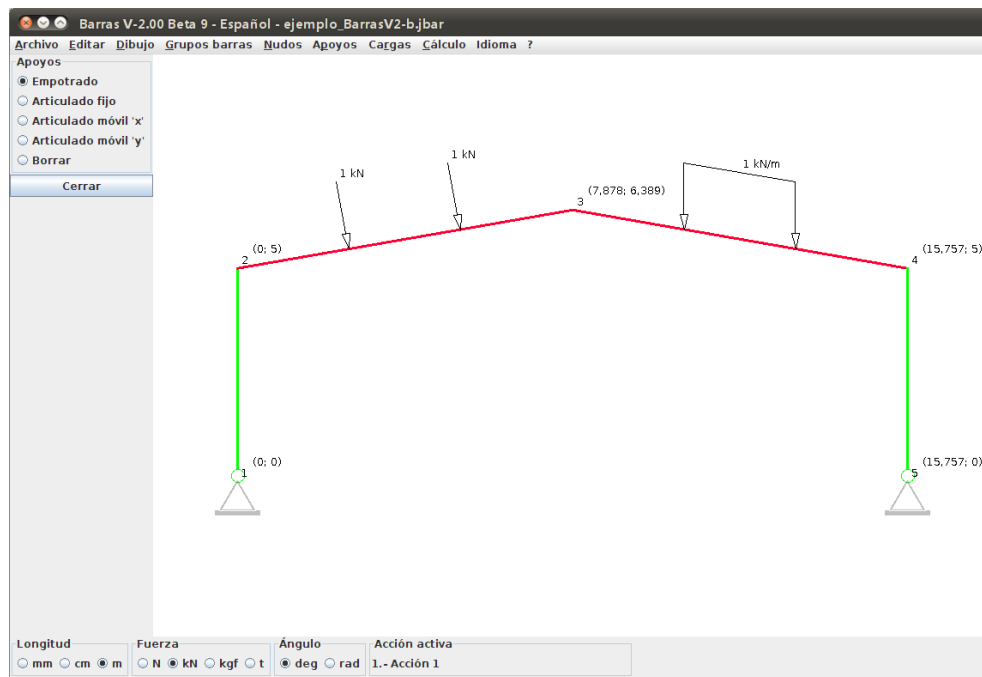


Imagen 4: Barra lateral de definición de apoyos

Hay cuatro tipos de apoyos que se pueden definir.

- Empotrado: Permite crear un apoyo con restricciones de movimiento en las dos direcciones 'x' e 'y' del plano, y con una restricción de giro. El apoyo se representa sobre la estructura con un rectángulo sobre el nudo que se ha seleccionado.
- Articulado fijo: Se crean restricciones de movimiento en 'x' e 'y' sobre el nudo seleccionado y el giro del mismo permanece libre. Su representación se realiza mediante un triángulo con una base rectangular.
- Articulado móvil 'x': Se crean restricciones de movimiento con respecto al eje 'y', se permiten desplazamientos con respecto a eje 'x' y también los giros. Se representa mediante un triángulo y con dos círculos situados en la arista del triángulo que coincide con el eje 'x'.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI

LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

- Articulado móvil 'y': Se crean restricciones de movimiento con respecto al eje 'x', se permiten desplazamientos con respecto a eje 'y' y también los giros. Se representa mediante un triángulo y con dos círculos situados en la arista del triángulo que coincide con el eje 'y'.

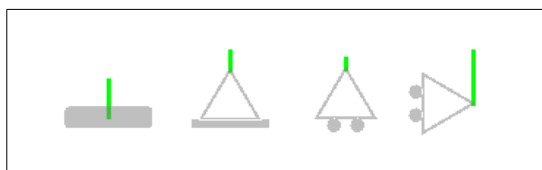


Imagen 5: Representación gráfica de las tipologías de los apoyos

- Módulo de introducción de cargas

Una vez definida la geometría de la estructura, es necesario definir la posición de cada una de las cargas que afectan a la estructura y su magnitud.

El programa no sería aprovechable al 100% si únicamente permitiese calcular un único conjunto de cargas sobre la estructura. La normativa de cálculo estructural, obliga a considerar varias combinaciones de las diferentes tipologías de cargas mencionadas anteriormente, aplicando un coeficiente corrector de mayoración a cada una de ellas.

Para conseguir este objetivo, se ha codificado, junto con el módulo de introducción de cargas, una herramienta que permite diferenciar varias hipótesis de carga y sus combinaciones.

El programa Barras V2 está preparado para trabajar con diferentes grupos de acciones de diferente naturaleza, para ello, al pulsar sobre el submenú de “Acciones...”, aparece una ventana sobre la cual se puede definir el nombre que se le va a dar a cada una de ellas (imagen 6).

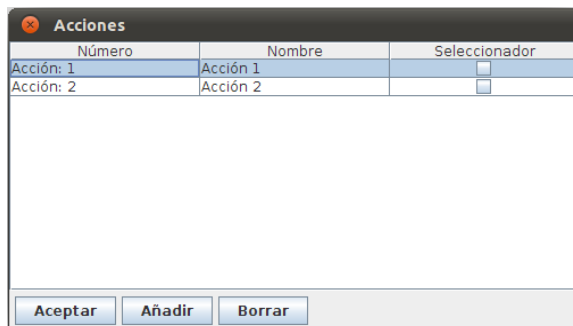


Imagen 6: Ventana de edición de acciones



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

La ventana contiene tres botones que permiten aceptar los datos de acciones de la ventana, añadir nuevas acciones y borrar las acciones que están seleccionadas en la columna “Seleccionador” de la misma ventana. Con el objetivo de evitar borrados por error de las cargas introducidas, el programa se ha diseñado para no permitir eliminar una acción que tenga cargas asignadas.

Las combinaciones de acciones permiten definir valores de combinación de todas las acciones existentes para realizar el cálculo de sus efectos combinados. El acceso a la ventana de combinaciones se realiza mediante la opción del menú “Cargas/Combinaciones...”.

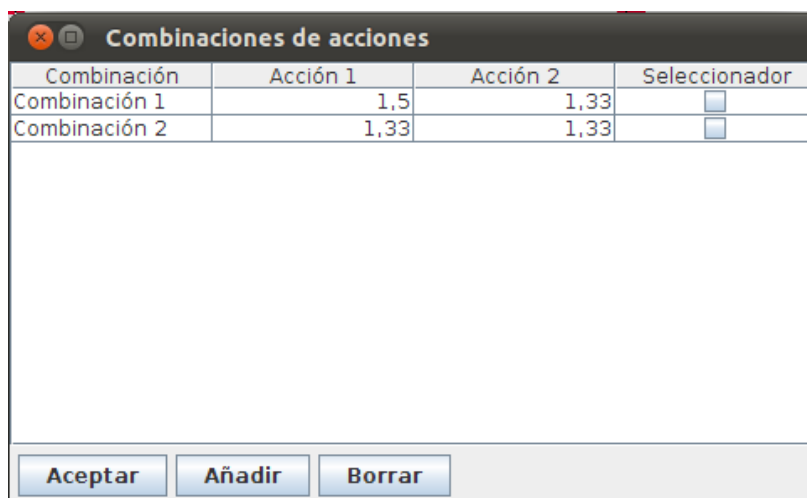


Imagen 7: Ventana de definición de combinaciones de acciones

De acuerdo a lo indicado en las normativas de construcción, las acciones han de calcularse combinadas con diferentes factores multiplicadores. Como en función de la normativa esas combinaciones son diferentes, el programa permite crear un bloque de combinaciones personalizado adaptado a cualquier casuística. Incluso para los casos en los que únicamente hay que considerar las cargas permanentes sin mayorar, como suele ocurrir en estados límites de servicio, es posible definir una combinación introduciendo un coeficiente multiplicador unitario para las cargas permanentes y nulo para el resto, aunque todo ello queda a elección del usuario, que es el responsable de aplicar y conocer las normativas antes de realizar el cálculo.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

La ventana de combinaciones dispone de tres botones similares a la de acciones y que tienen el mismo uso. En cuanto a las columnas, la primera de ellas “Combinación” no es editable y permite llevar un registro numérico de las combinaciones existentes. La última columna es la de “Seleccionador” que sirve únicamente para poder eliminar combinaciones que no se necesitan. El resto de columnas dependerá del número de acciones que se hayan introducido previamente, y mediante una doble pulsación del botón izquierdo del ratón sobre cada celda de esas columnas, se podrán editar los valores de los coeficientes multiplicadores de las acciones que se desean para cada combinación.

El programa, cuando realiza el cálculo de la estructura, permite visualizar los resultados de los esfuerzos y desplazamientos producidos por cada una de las acciones por separado y por cada una de las combinaciones de las mismas. Estos resultados son los que permitirán dimensionar la estructura que se está calculando.

Una vez definidas acciones y combinaciones se procede con las definiciones de las cargas que afectan a cada una de las acciones.

Cuando pulsamos sobre la opción del submenú de cargas “Añadir cargas...” aparece una barra de herramientas en la parte lateral izquierda de la pantalla que servirá de apoyo para la definición de las mismas.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI

LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

Esta barra lateral se puede ver en la imagen 8, y se pueden apreciar varios apartados.

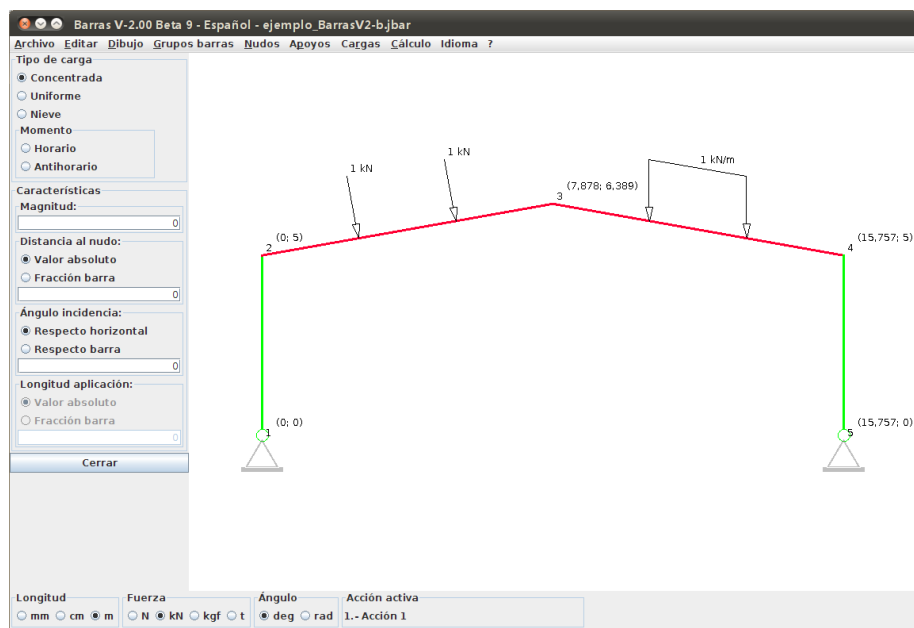


Imagen 8: Ventana de definición de cargas

En primer lugar hay un apartado general donde se puede elegir el tipo de carga que se desea añadir a la estructura. Las tipologías son:

- Concentrada: Carga de aplicación en un punto de la estructura. Esta fuerza puede aplicarse tanto sobre una barra como sobre un nudo. La ecuación de dimensiones de esta carga es $[F]$, y su magnitud se representa mediante unidades de fuerza.
- Uniforme: Carga distribuida sobre una barra de la estructura. Esta carga puede afectar a barras completas o a porciones de las mismas. Su ecuación de dimensiones es $[F]/[L]$, por lo que la magnitud introducida tendrá unidades de fuerza/longitud.
- Nieve: Es una tipología de carga similar a la uniforme, pero con una pequeña diferencia que viene marcada por normativa. La magnitud de la carga uniforme de nieve se determina por unidad de longitud de la proyección horizontal de la barra

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

sobre la que se aplica. La ecuación de dimensiones de esta carga es similar a la de la carga uniforme.

- Momento: Es una carga de aplicación en un punto. La ecuación de dimensiones de la misma es $[F] \cdot [L]$ y mediante las opciones de selección de la barra de herramientas se puede definir el sentido del mismo.

Para definir completamente la carga hay que completar el contenido de varios campos adicionales, pero antes de definir cada uno de ellos, es preciso indicar cómo se comporta el programa en el momento de seleccionar una barra durante la introducción de las cargas.

Cuando se están introduciendo las cargas, el cursor que se desplaza por pantalla tiene forma de mano, y espera la selección de una barra. También se puede observar cómo al acercar el cursor a una barra, ésta cambia de color. Ese cambio de color indica cuál es la barra que está seleccionada, que será sobre la que se aplique la carga al pulsar el botón izquierdo del ratón.

Pero la selección de la barra no es lo único que tendrá en cuenta el programa a la hora de definir la carga. También buscará cuál es el nudo de esa barra más cercano al cursor en el momento de pulsar con el botón izquierdo del ratón. Ese nudo, de los dos posibles en la barra, será el que se tome como referencia para calcular la distancia que debe existir entre la carga y el nudo seleccionado, parámetro que se define como “Distancia al nudo” en las opciones que servirán para completar las características de la carga:

- Magnitud: Valor nominal de la carga. Las unidades de trabajo para introducir la carga están definidas en la parte inferior de la pantalla del programa.
- Distancia al nudo: Permite indicar la distancia que existe desde el punto de aplicación de la carga hasta el nudo más cercano que se seleccione en la barra donde se va a definir la carga. En el caso de una carga distribuida indica la distancia desde el nudo más cercano al punto donde comienza la aplicación de la carga uniforme. En esta distancia, el nudo de referencia siempre es el más cercano al lugar dónde se realiza la selección de la barra.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

- Valor absoluto: Permite definir la distancia al nudo como un valor absoluto, en función de las unidades que estén seleccionadas en la parte inferior de la pantalla del programa. En caso de usar como valor absoluto una distancia al nudo de valor nulo, la carga se aplicará sobre el nudo seleccionado (extremo más cercano al punto de selección de la barra).
- Fracción barra: Es un apoyo a la definición de cargas, que permite usar la longitud de la barra como valor de referencia. En este caso, el valor introducido en el apartado de “Distancia al nudo” funcionará como un divisor de la longitud de la barra. En caso de requerir una carga aplicada en el centro de la barra ($L/2$) el coeficiente a usar será 2, en caso de desear que la distancia al nudo sea un tercio del extremo de la barra ($L/3$) el coeficiente será 3 y así sucesivamente. De esta forma se permite aplicar cargas en puntos que son fracciones exactas de la longitud de la barra, incluso cuando se desconoce esa longitud.
- Ángulo de incidencia: Indica el sentido de aplicación de la carga. Únicamente es aplicable para cargas puntuales y distribuidas ya que no tiene sentido su aplicación en momentos (puesto que ya se define su sentido al elegir el momento) ni en cargas de nieve (ya que la carga de nieve es siempre gravitatoria). En estos dos últimos casos este apartado queda desactivado y no es posible utilizarlo.
- Respecto a la horizontal: Permite tomar como referencia la dirección positiva el eje 'x' general (horizontal y hacia la derecha) como origen del ángulo de aplicación de la carga. En la imagen 9 se indica la dirección de los ejes en el

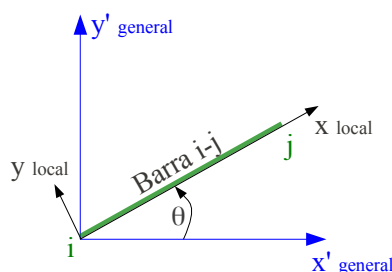


Imagen 9: Sistemas de referencia local y general



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

sistema de referencia general de la estructura y local de la barra. Una carga con un valor nulo y con este apartado seleccionado, se definirá hacia la derecha, mientras que si el ángulo es de 270° , se estará definiendo como carga gravitatoria. Las unidades para la elección del ángulo se pueden seleccionar en la barra inferior del programa.

- Respecto a la barra: Permite tomar como referencia el eje 'x' local de la barra. Su dirección positiva se define desde el nudo menor hacia el mayor. En caso de seleccionar esta opción e introducir un ángulo de 90 ó 270 , se aplicarán cargas perpendiculares a la barra, incluso aunque se desconozca el ángulo de inclinación de la misma.
- Longitud de aplicación: Este punto únicamente es aplicable a las cargas distribuidas (carga uniforme y nieve) y define el ancho total que ocupa la carga sobre la barra. Al igual que en el punto de “Distancia al nudo” se pueden introducir valores de longitud de carga tanto absolutos como mediante fracciones de longitud de barra.
- Módulo de exportación de datos y resultados

Uno de los objetivos, para la aplicación docente de la herramienta, era la posibilidad de exportar tanto los datos como los resultados.

A priori, para el alumnado, la herramienta más importante es la exportación de resultados, pero tal y como se ha indicado en los objetivos, para los alumnos que están aprendiendo cálculo de estructuras y concretamente el método matricial, también es de suma importancia la posibilidad de comprobar algunos de los resultados intermedios que se obtienen antes de llegar a la solución final. Por esta razón, además de poder exportar los resultados finales, también es posible exportar las matrices de rigidez utilizadas en el método de cálculo, tanto a nivel de barra como de estructura.

La opción del menú “Archivo/Exportar datos archivo ASCII” permite la creación de un archivo de texto plano (ASCII), con todos los datos de la estructura, coordenadas de nudos,

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

descripción de las cargas de cada acción y su posicionamiento, características de las barras y todos los datos que definen la estructura. Este archivo es posible abrirlo con cualquier procesador de texto e incluso con cualquier programa que permita la lectura de archivos ascii, como por ejemplo el bloc de notas en Microsoft Windows y vim, nano o gedit en Linux.

La opción “Archivo/Exportar resultados archivo ASCII” permite la creación de un fichero de texto plano, de características similares al anterior pero con los resultados obtenidos en el cálculo de la estructura. Para cada una de las acciones y combinaciones definidas se obtienen los desplazamientos de los nudos y los valores de los esfuerzos internos en los extremos de las barras (axil, cortante y momento flector).

La opción “Archivo/Exportar pantalla a imagen” permite exportar a un fichero de imagen el contenido gráfico de la pantalla del programa, exceptuando los menús.

Aunque por defecto, tras la primera ejecución del programa, todas las opciones de representación del dibujo están activas (en la opción del menú “Dibujo” están activadas todas las opciones para que sean visibles los apoyos, las cargas, los valores de las cargas, los números de nudo y las coordenadas de los mismos), se puede evitar su representación en pantalla antes de realizar la exportación a un archivo de imagen, para que únicamente aparezca la información gráfica de la estructura que se requiera en cada caso.

Los tipos de archivo de imagen que se pueden guardar son *.gif, *.jpg, *.bmp, *.png, *.jpeg, *.wbmp. Para guardar en cada uno de esos formatos únicamente es necesario añadir al nombre de archivo de imagen, la extensión deseada. Por defecto, si no se incluye extensión el archivo se guardará con formato GIF.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI

LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

La opción “Archivo/Exportar matrices de rigidez globales de las barras” es una de las opciones de mayor interés para los alumnos que están aprendiendo el método matricial, ya que

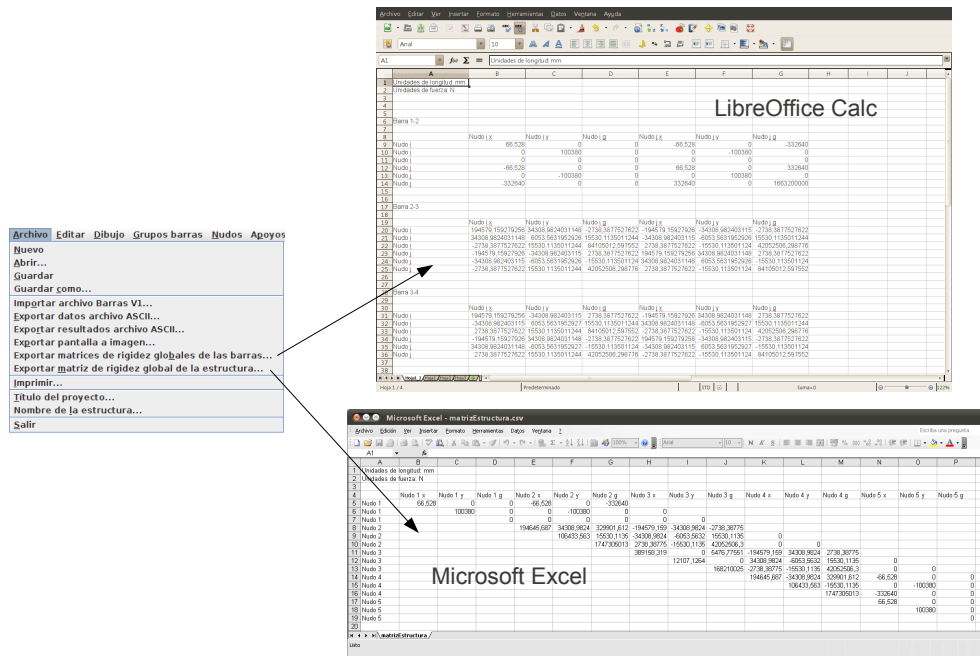


Imagen 10: Ejemplo de exportación de los resultados intermedios de cálculo

necesitan construir la matriz de rigidez de cada barra y ensamblar todas ellas para obtener la matriz de rigidez de la estructura completa.

Como se trata de un programa de uso docente, es posible exportar, mediante un archivo en formato ascii, importable por cualquier hoja de cálculo, las matrices de rigidez de cada barra y la matriz de rigidez ensamblada de toda la estructura, opción que permitirá la autocorrección de los ejercicios que el estudiante se plantee.

Las matrices de rigidez exportadas, están referidas al sistema de referencia global de la estructura, no al local de las barras (véase imagen 9). Estas matrices en cada barra están compuestas por 6 filas y 6 columnas, y para facilitar el trabajo numérico con esos valores y poderlos introducir correctamente en una hoja de cálculo, todos los valores están separados por

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

el delimitador “;”. De esta forma, es fácil importar los archivos separando cada uno de los valores en una celda diferente.

También se incluyen en el archivo las unidades utilizadas en la creación de la matriz, la longitud está siempre expresada en milímetros y la fuerza en Newtons.

La opción “Archivo/Exportar matriz de rigidez global de la estructura” es similar a la anterior, con la diferencia de que el archivo contendrá la matriz de rigidez en coordenadas globales de la totalidad de la estructura. Puesto que la matriz de rigidez de la estructura es simétrica, únicamente se exportan los valores numéricos de la zona triangular superior de la matriz y todo el triángulo inferior queda rellenado con blancos. Esos datos son suficientes para que los alumnos puedan comprobar los valores intermedios del cálculo.

- Módulo de cálculo

La codificación interna de este módulo se ha realizado aplicando el método matricial de la rigidez, que es el mismo método de cálculo que los alumnos van a utilizar en su aprendizaje. Este método basa su operativa en la relación entre las cargas de los nudos y sus desplazamientos y el primer resultado de cálculo, pasa por la obtención de esos desplazamientos, a partir de los cuales, es posible encontrar los valores de los esfuerzos, axil, cortante y flector en los extremos de todas las barras. Estos esfuerzos son los que se utilizarán en las asignaturas de dimensionamiento estructural, para justificar el tamaño mínimo de cada uno de los perfiles y/o elementos barra utilizados en la estructura que se está diseñando.

En definitiva, el uso del programa es viable no sólo en las asignaturas de cálculo de estructuras, sino que también será de aplicación en las de dimensionamiento estructural, o en los proyectos final de grado y máster.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

Pulsando sobre la opción del menú “Calculo/Ver gráficos leyes...”, se mostrará una barra de herramientas lateral, tal y como se observa en la imagen 11 que permitirá ver el gráfico de

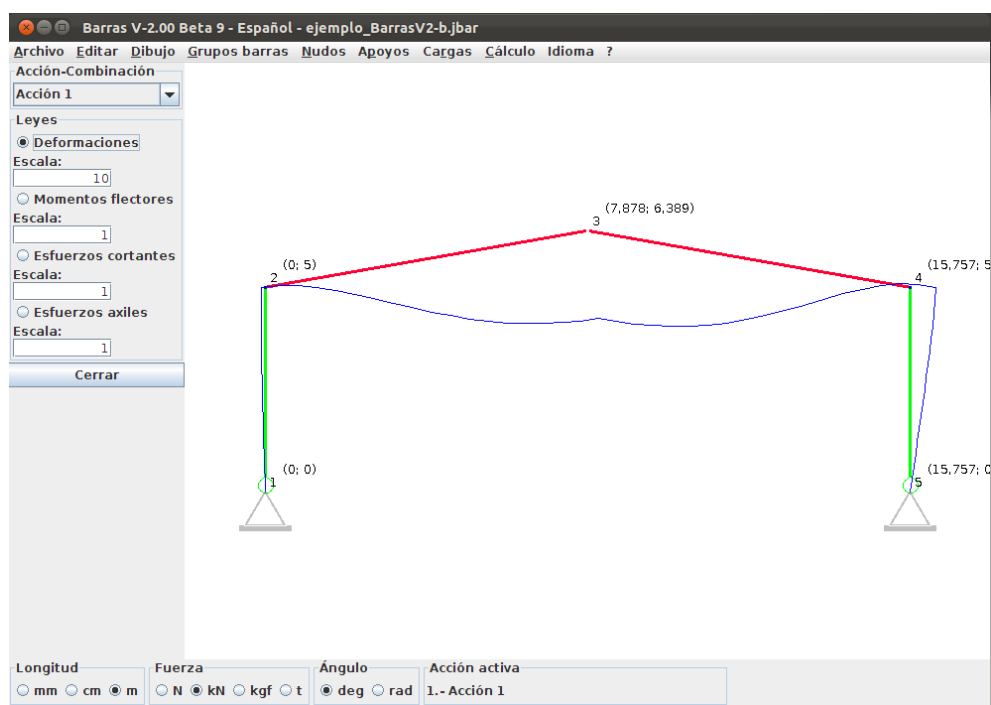


Imagen 11: Barra lateral para el visionado gráfico de los resultados

cada ley de esfuerzos, cambiar su escala y modificar la acción o combinación de acción que se desea visualizar.

Desde la pestaña de selección de la barra de herramientas, se puede elegir la acción o combinación a visualizar.

También se puede actuar sobre la escala de representación de la ley mediante un factor multiplicador, que por defecto es 1.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

Con la opción “Cálculo/Ver resultados numéricamente” se pueden observar, sobre una

Desplazamientos y esfuerzos											
Desplazamientos				Esfuerzos							
Nudo	Desplaz. X (mm)	Desplaz. Y (mm)	Giro (rad)	Barra	Axil T (kN)	Esfuerzos cortantes T (kN)	Momentos flectores T (kN·m)	Axil T (kN)	Esfuerzos cortantes T (kN)	Momentos flectores T (kN·m)	
1	0	0	0	(1-2)	2,059	2,917	10,42	2,059	2,917	-4,167	
2	-25,061	-0,021	0,00564	(2-3)	3,231	-1,521	-4,167	3,231	0,479	0	
3	0,13	-1,42,981	0	(3-4)	3,2	-0,655	0	3,663	1,971	-5,267	
4	25,32	-0,026	-0,00522	(4-5)	2,578	-3,265	-5,267	2,578	-3,265	11,056	
5	0	0	0								

Imagen 12: Ventana de resultados

tabla, los valores de los desplazamientos de los nudos en milímetros y los valores de los esfuerzos en los extremos de las barras usando como unidades de fuerza y de longitud por defecto, las seleccionadas en la barra inferior de la ventana principal del programa.

Para cambiar la acción o combinación de los esfuerzos o desplazamientos visualizados en esta tabla, se puede usar el cuadro de selección que aparece en la parte inferior de esta pantalla.

Todos los valores numéricos que aparecen, tanto desplazamientos como esfuerzos, se pueden seleccionar con el cursor y copiar mediante la tecla Ctrl+C. De esta forma se pueden pegar en una hoja de cálculo o en una tabla de un procesador de texto, en caso de que el alumno necesite preparar un informe de cálculo.

- Acciones futuras previstas.

Aunque la primera fase de creación del programa está ya terminada, todavía quedan implementaciones pendientes dentro de la evolución lógica que se pretende dar a la herramienta para ampliar sus funciones básicas, entre otras cabe destacar las siguientes:

- Implementación del módulo de impresión.
- Indicar los valores máximos de los esfuerzos en cada barra y el punto donde se producen.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

- Sustitución de los textos de las barras de herramientas laterales por botones con imágenes.
- Introducción del efecto de las imperfecciones iniciales en el cálculo, tanto a nivel de nudo como de barra.
- Posibilidad de realizar el cálculo en segundo orden. De esta forma se cubrirían los requerimientos exigidos en la normativa estructural, para los casos en los que los desplazamientos superan determinados límites.
- Permitir, mediante opciones de selección internas, la comprobación de resultados de métodos de cálculo que no consideran la deformación por axil (el método de Cross por ejemplo). Esta comprobación se puede realizar manualmente con la versión actual del programa mediante la introducción de un área lo suficientemente grande como para que la deformación por axil se pueda despreciar.
- Realización del cálculo espacial de estructuras.

c) Conclusiones

Se ha alcanzado el objetivo principal, que era el desarrollo de un programa de cálculo de estructuras, que permitiese al alumnado un trabajo más autónomo, sobre todo en la fase de aplicación práctica de los conocimientos adquiridos. Además, tal y como se requería en el planteamiento inicial del proyecto, el programa se ha desarrollado en Java, por lo que se puede usar en plataformas Windows, Linux y Macintosh.

La posibilidad que el programa brinda para comprobar determinados resultados parciales de cálculo, ha permitido que la valoración del mismo por parte de los alumnos haya sido muy positiva, tanto a nivel de autonomía, como a nivel de velocidad en el aprendizaje. Esta valoración se realizó a partir de encuestas realizadas en varias asignaturas relacionadas con el cálculo de estructuras en la Universitat de Lleida.

En las encuestas realizadas, un 90% de los alumnos consideraban que el programa les había ayudado a resolver los problemas mediante las comprobaciones de los resultados

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

intermedios; el 76% consideraba que se había reducido el tiempo de aprendizaje de la metodología de cálculo, y el 90% consideraba la herramienta bastante o muy útil como apoyo en el aprendizaje del cálculo de estructuras.

El hecho de haber creado un módulo de idioma (inglés, español y catalán), y de que la generación del archivo de un nuevo lenguaje, sea extremadamente fácil, permite que pueda ser aplicado sin restricciones en cualquier lugar. Adicionalmente, la facilidad para cambiar el lenguaje de uso en el programa, permitiría la introducción de nuevas competencias de idioma en alguna de las asignaturas que puedan ser susceptibles de utilizarlo.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer a la Universitat de Lleida su apoyo y la financiación en los proyectos PID 2010-2011.

También quieren agradecer la colaboración del resto de profesores involucrados, su paciencia, y la buena predisposición de todos los alumnos que han participado.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Argüelles, R., La estructura metálica hoy. Programación, Librería técnica Bellisco, Madrid, 1987.

[2] Barry, H., Teaching and learning with computers. A guide for college Faculty and administrators. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1988.

[3] Ceballos, F.J., Java 2 Lenguaje y aplicaciones. Ra-Ma editorial, 2006.

[4] Ceballos, F.J., Java 2 Interfaces gráficas y aplicaciones para Internet. Ra-Ma editorial, 2008.

[5] Gillespie, K.H. . The impact of technology on faculty development, life and work. San Francisco: Jossey-Bass Publishers, 1998.

[6] Iglesias, J.M., Análisis Matricial de Estructuras de Barras. Edicions de la Universitat de Lleida, 1996.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI



LA UNIVERSIDAD: UNA INSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD

[7] Iglesias, J.M., Bradineras, F.J., Cálculo de estructuras planas. Edicions de la Universitat de Lleida, 1996.

[8] Marquès, P., Algunes notes sobre l'impacte de les TIC a la universitat. Educar 28, 2001, 83-98.

[9] Morán, F., Análisis matricial de estructuras en ordenadores personales compatibles, Rueda, Alcorcón (Madrid), 1990.

[10] Salinas, J., Innovació docent i ús de les TIC en l'ensenyament universitari. Revista Universitat i Societat del Coneixement. Vol 1, n° 1. 2004.

SECRETARIA TÉCNICA
VII CIDUI